

PENENTUAN AKTIVITAS ^{60}Co DAN ^{137}Cs PADA SAMPEL UNKNOWN DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR HPGe

Miftahul Aziz¹⁾, Eko Hidayanto¹⁾ dan Diah Dwiana Lestari²⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT)-BATAN, Bandung

Email: azizmiftahul48@gmail.com

ABSTRACT

The measurement of radioactivity ^{60}Co and ^{137}Cs in the unknown sample were conducted to determine activity value using HPGe detector. Calibration of energy, calibration efficiency, making the efficiency of the curve calibration, and validation methods are the determination of sample source activity. Calibration of energy and efficiency using standard sources QCRB 1186 and ^{152}Eu . Enumeration carried out using two detectors with efficiencies of 25% and 35%, respectively at a distance of 17 cm and 24 cm. Efficiency curve created using the excel program. Determination of activity is carried out by chopping Co and Cs in the unknown sample at the same position as the standard source for 3600 seconds. Method validation is done by calculating the activity of standard source QCRB 1186 and ^{152}Eu . Method validation using standard source ^{152}Eu at a distance of 17 cm provide a bias of 1,4% - 3,6% and at a distance of 24 cm provide a bias of 0,3% - 4,6%. Determination of activity the unknown sample against reference value at a distance of 17 cm (Co 1173 keV: 16125 Bq and 16716 Bq; Co 1332 keV: 16526 Bq and 16287 Bq; Cs 662 keV: 16526 Bq and 16287 Bq) and at distance of 24 cm (Co 1173 keV: 15289 Bq and 16533 Bq; Co 1332 keV: 15477 Bq and 16481 Bq; Cs 662 keV: 37226 Bq and 38540 Bq).

Keywords: Activity, ^{60}Co , ^{137}Cs , Calibration efficiency, Method Validation

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran radioaktivitas ^{60}Co dan ^{137}Cs pada sampel unknown untuk mengetahui nilai aktivitas dengan menggunakan detektor HPGe. Kalibrasi energi, kalibrasi efisiensi, pembuatan kurva kalibrasi efisiensi, validasi metode adalah tahap-tahap penentuan aktivitas sumber sampel. Kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standard QCRB 1186 dan sumber standard ^{152}Eu . Pencacahan dilakukan menggunakan 2 detektor dengan efisiensi 25% dan 35% masing-masing pada jarak 17 cm dan 24 cm. Kurva efisiensi dibuat dengan menggunakan program Excel. Penentuan aktivitas dilakukan dengan mencacah Co dan Cs pada sampel unknown pada posisi yang sama dengan sumber standard selama 3600 detik. Validasi metode dilakukan dengan menghitung aktivitas sumber standard QCRB 1186 dan sumber standard ^{152}Eu . Validasi metode dengan menggunakan sumber standard ^{152}Eu pada jarak 17 cm memberikan bias 1,4% - 3,6% dan pada jarak 24 cm memberikan bias 0,3% - 4,6%. Penentuan aktivitas sampel unknown terhadap nilai acuan pada jarak 17 cm (Co 1173 keV: 16125 Bq dan 16716 Bq; Co 1332 keV: 16526 Bq dan 16287 Bq; Cs 662 keV: 16526 Bq dan 16287 Bq) dan pada jarak 24 cm (Co 1173 keV: 15289 Bq dan 16533 Bq; Co 1332 keV: 15477 Bq dan 16481 Bq; Cs 662 keV: 37226 Bq dan 38540 Bq).

Kata kunci: Aktivitas, ^{60}Co , ^{137}Cs , Kalibrasi Efisiensi, Validasi Metode

PENDAHULUAN

Dewasa ini banyak sekali unsur radioaktif yang telah berhasil dibuat oleh manusia berdasarkan reaksi nuklir antara nuklida yang tidak radioaktif dengan neutron atau berdasarkan reaksi nuklir antara nuklida yang tidak radioaktif dengan partikel cepat. Seiring juga banyaknya unsur gabungan membentuk senyawa baru tersebut belum diketahui nilainya baik itu aktivitas, efisiensi, serta nilai intensitas unsur tersebut.

Salah satu jenis radionuklida yang banyak digunakan adalah ^{60}Co . Pemanfaatan ^{60}Co diantaranya untuk keperluan radioterapi di dunia medis baik sebagai *implant* maupun sumber radiasi eksternal. Selain itu pemanfaatan lain dalam bidang kedokteran penggunaan *tomography benchtop apparatus*. Dalam tanaman juga dimanfaatkan pada cendawan patogen tanaman *F. oxysporum* terhadap pertumbuhan *T. harzianum* [9]. Selain itu penelitian terhadap sifat in vitro sel darah merah yang diawetkan dengan larutan

pengawet dan diiradiasi dengan Cobalt pada teleterapi unit [3].

Jenis radionuklida lain yang banyak digunakan adalah ^{137}Cs . Pemanfaatan ^{137}Cs diantaranya untuk mempelajari pengaruh ukuran butir limbah karbon aktif terhadap kerapatan dan kuat tekan beton, sehingga diperoleh *ratio* komposisi matriks dan limbah yang optimal [8]. Selain itu, pemanfaatan lain uji penyerapan variasi nanokomposit magnet oksida besi [5].

Radionuklida ^{60}Co dan ^{137}Cs pada sampel *unknown* merupakan radionuklida baru yang belum dianalisa karakteristik yang dimilikinya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai aktivitas radionuklida ^{60}Co dan ^{137}Cs pada sampel *unknown*. Hasil penelitian ini diharapkan nantinya menjadi bermanfaat dan dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk suatu saat mungkin bisa digunakan pada bidang kesehatan atau bidang industri.

DASAR TEORI

Aktivitas Radiasi

Aktivitas radiasi menyatakan jumlah peluruhan yang terjadi per detik. Aktivitas tidak berhubungan dengan jenis radiasi dan energi radiasi, namun hanya berhubungan dengan jumlah peluruhan per satuan waktu. Jika aktivitas awal suatu nuklida adalah A_0 maka setelah t detik aktivitasnya menjadi $A(t)$ yang mengikuti persamaan 1 [1]:

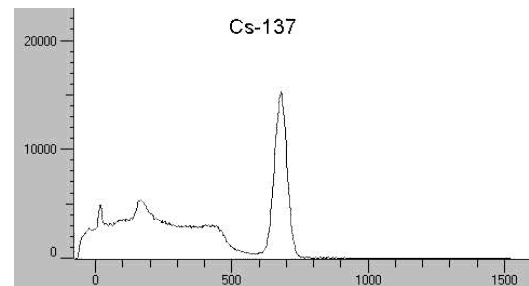
$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Dengan $A(t)$ merupakan aktivitas pada saat tertentu (Bq), A_0 adalah aktivitas awal (Bq), λ adalah tetapan peluruhan, dan t adalah beda waktu. Besaran lain yang berkenaan dengan aktivitas adalah waktu paruh, yaitu interval waktu aktivitas radiasi sehingga berkurang menjadi separuhnya. Waktu paruh secara simbolik dituliskan $T_{1/2}$ mengikuti persamaan 2 [1]:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2)$$

Radionuklida Cesium-137 (^{137}Cs)

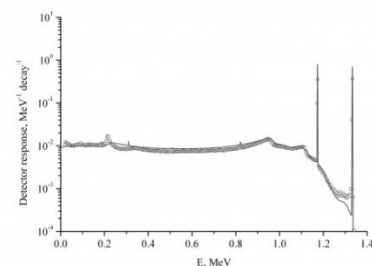
Cesium merupakan logam yang sangat reaktif secara kimiawi. Cesium sangat reaktif terutama ketika bereaksi dengan air akan terbentuk basa dengan pelepasan kalor yang sedemikian besar sehingga bereaksi dengan hidrogen yang dilepaskan dalam proses tersebut. Spektrum Cs-137 dijelaskan pada gambar (1) dengan tingkat energi 662 keV.



Gambar 1. Spektrum ^{137}Cs [4]

Radionuklida Cobalt-60 (^{60}Co)

Cobalt-60 merupakan radionuklida yang memiliki waktu paruh cukup panjang sebesar 5,2710 tahun di tunjukkan pada gambar 2.1. Dalam penggunaannya, Cobalt-60 memberikan dosis yang kecil pada permukaan tubuh. Namun ada juga kelemahannya yaitu diperlukan pemeriksaan bulanan untuk mengetahui peluruhannya dan sumber harus diganti setiap lima tahun sekali. Spektrum Co-60 dijelaskan pada gambar 2 dengan tingkat energi 1173 keV dan 1332 keV.



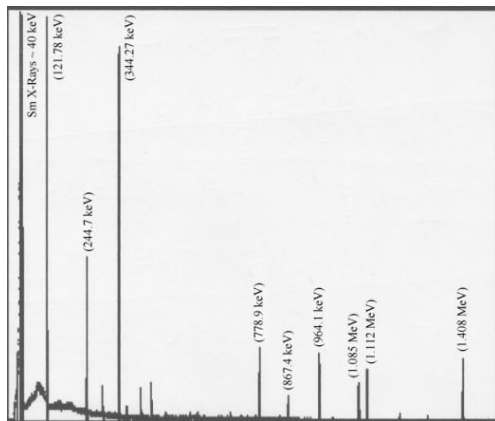
Gambar 2. Spektrum ^{60}Co [6]

Radionuklida Europium-152 (^{152}Eu)

Radionuklida ^{152}Eu merupakan produk hasil fisi uranium dengan *yield* 20,8% memancarkan sinar gamma pada energi utama 1408 keV dengan waktu paro 13,33 tahun. Pemanfaatan utama ^{152}Eu dalam batang kendali reaktor nuklir, karena sifatnya yang efektif dalam menyerap neutron.

Dalam penggunaannya sumber multigamma sangat bermanfaat untuk kalibrasi efisiensi [2].

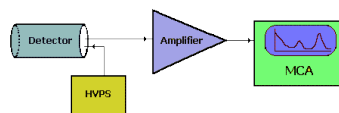
Spektrum Eu-152 dijelaskan pada gambar 3 dengan rentang energi 121 keV-1408 keV.



Gambar 3. Spektrum ^{152}Eu [2]

Detektor High Purity Germanium (HPGe)

Detektor semikonduktor germanium memiliki efisiensi yang tinggi untuk mengukur radiasi gamma, namun pada kenyataannya detektor harus tetap berada dalam temperatur yang sangat rendah, walaupun sedang tidak digunakan, pada umumnya digunakan nitrogen cair. Detektor HPGe merupakan detektor semikonduktor yang mempunyai resolusi atau kemampuan memisahkan dua *peak* jauh lebih baik daripada NaI(Tl). Prinsip kerja dari detektor HPGe dapat ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Skema Kerja Detektor HPGe

Efisiensi Detektor

Efisiensi detektor adalah ukuran yang menghubungkan antara pulsa yang dihasilkan oleh detektor jika diberikan sumber sinar-x dengan aktivitasnya. Efisiensi detektor akan meningkat jika probabilitas interaksi antara radiasi dan material penyusun detektor meningkat. Probabilitas akan meningkat sebanding dengan ukuran detektor. Selain itu juga bergantung pada jarak antara

detektor dengan sumber radiasi. Semakin dekat jaraknya, semakin besar efisiensinya [9].

$$\varepsilon(E) = \frac{\text{cps}}{\text{dps} \cdot Y(E)} \quad (3)$$

Dengan $\varepsilon(E)$ merupakan efisiensi mutlak pada tenaga E, cps adalah cacah per sekon atau cacah pulsa yang dihasilkan detektor per sekon, dps adalah disintegrasi per sekon atau cacah sinar γ yang dipancarkan oleh sumber γ ke segala arah per sekon dan $Y(E)$ adalah intensitas mutlak sinar γ atau *yield*.

Waktu Mati (Dead Time)

Proses pengubahan sebuah radiasi menjadi pulsa listrik dan akhirnya tercatat sebagai sebuah cacahan memerlukan selang waktu tertentu yang sangat dipengaruhi oleh kecepatan detektor dan peralatan penunjangnya. Selang waktu tersebut dinamakan sebagai waktu mati (*dead time*) dari sistem pencacah karena selama selang waktu tersebut sistem pencacah tidak mendeteksi radiasi yang datang. Karena intensitas radiasi yang dipancarkan oleh suatu sumber bersifat acak (*random*) maka terdapat kemungkinan bahwa beberapa radiasi yang mengenai detektor tidak tercatat, semakin tinggi intensitasnya (laju cacahnya) semakin banyak radiasi yang tidak tercatat sehingga hasil pengukuran sistem pencacah lebih sedikit dari seharusnya.

Resolusi Energi

Resolusi energi adalah suatu parameter yang menunjukkan kemampuan system spektroskopi untuk membedakan dua tingkat energi yang berdekatan. Nilai ini direpresentasikan sebagai nilai FWHM (*full width at half maximum*), yaitu '*peak*' energi pada setengah tinggi puncaknya [5].

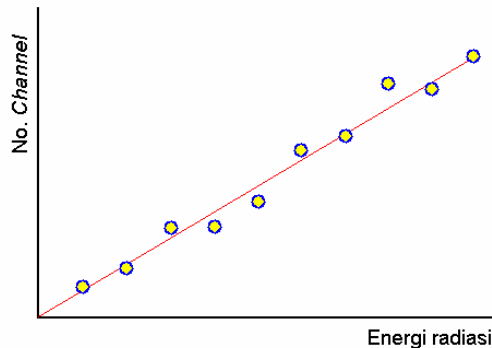
Kalibrasi Energi

Dalam sistem spektroskopi terdapat beberapa langkah konversi pada pengolahan setiap radiasi menjadi pulsa listrik dan akhirnya menjadi satu spektrum distribusi energi radiasi.

Jadi, sumbu X pada spektrum energi radiasi adalah skala posisi *channel* atau skala tinggi pulsa. Agar sumbu X tersebut dapat diubah menjadi skala

energi maka perlu dilakukan kalibrasi energi, yaitu dengan melakukan pengukuran sumber radiasi standar yang memancarkan beberapa tingkat energi sehingga kemudian dapat menentukan persamaan korelasi antara energi dan posisi *channel*.

Penjelasan tentang kalibrasi energi terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Kurva kalibrasi energi radiasi

METODE PENELITIAN

Prosedur pada kegiatan ini terdiri dari beberapa tahap yaitu kalibrasi energi, kalibrasi efisiensi, pembuatan kurva kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi, validasi metode dan penentuan aktivitas standar maupun sampel. Kalibrasi energi ini dilakukan dengan menggunakan sumber standar campuran dengan kode QCRB 1186. Kalibrasi energi dilakukan mencacah sumber standar QCRB 1186 yang terdiri dari nuklida Am-241, Cs-137 dan Co-60. Nilai yang dimasukkan pada kalibrasi energi ini adalah nilai acuan sertifikat. Tujuan dari dilakukan kalibrasi energi ini adalah untuk meminimalisir perubahan dari nilai *peak/puncak* yang dapat mempengaruhi pengukuran.

Untuk kalibrasi efisiensi dilakukan dengan mencacah sumber standar titik ^{152}Eu yang telah diketahui nilai energinya yaitu dari rentang 121-1408 keV. Pencacahan dilakukan dengan menggunakan 2 detektor yaitu detektor efisiensi 25% pada jarak 17 cm dari detektor dan detektor efisiensi 35% pada jarak 24 cm dari detektor, pencacahan ini dilakukan selama 3600 detik. Pada kedua detektor pengukuran dilakukan pada rak paling tinggi atau jaraknya paling jauh dari detektor, ini dimaksudkan untuk meminimalkan kesalahan-kesalahan yang mungkin diakibatkan oleh rangkaian elektronik spektrometer gamma

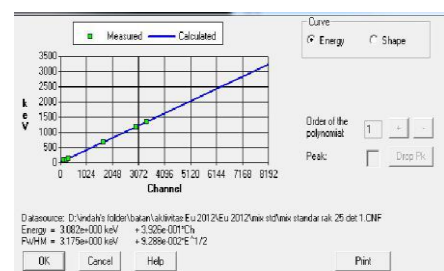
misalnya: waktu mati (*dead time*), kehilangan cacah, dan lain-lain.

Dari akuisisi menggunakan *software* program GENIE 2000, diperoleh kurva kalibrasi yang menunjukkan hubungan antara nomor salur dengan energi gamma. Dilakukan pula pembuatan kurva efisiensi secara manual yaitu dengan menggunakan program Ms.Excel. Agar data yang diperoleh tersebut dapat dipertanggungjawabkan, maka dilakukan validasi metode dengan cara menghitung aktivitas ^{60}Co dan ^{137}Cs dalam standar QCRB dan juga standar ^{152}Eu Dalam standar titik yang sudah diketahui aktivitasnya. Metode validasi ini dilakukan untuk memastikan kevalidan dari suatu pengukuran dan keakuratan pada kurva efisiensi terhadap nilai aktivitas yang telah diketahui (nilai acuan sertifikat). Perhitungan menggunakan waktu peluruhan dari tanggal produksi pada sertifikat sampai tanggal dimana pencacahan dilakukan. Penentuan aktivitas sumber standar dilakukan dengan cara mencacah radionuklida standar QCRB dan juga radionuklida single Co sedangkan untuk pengukuran aktivitas ^{60}Co dan ^{137}Cs sampel *unknown* dilakukan dalam posisi yang sama dengan standar ^{152}Eu dan standar QCRB. Perhitungan aktivitas sampel A(t) dilakukan dengan tiga cara yaitu menggunakan *software* GENIE 2000, perhitungan dengan rumus dan dilakukan perhitungan aktivitas menggunakan waktu peluruhan dari tanggal produksi pada sertifikat sampai tanggal dimana pencacahan dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Energi

Hasil yang didapat dari kalibrasi energi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi bermacam-macam radionuklida yang dapat memancarkan sinar gamma. Untuk hasil dari kalibrasi energi menggunakan standar QCRB 1186 ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Kurva kalibrasi energi menggunakan standar QCRB 1186

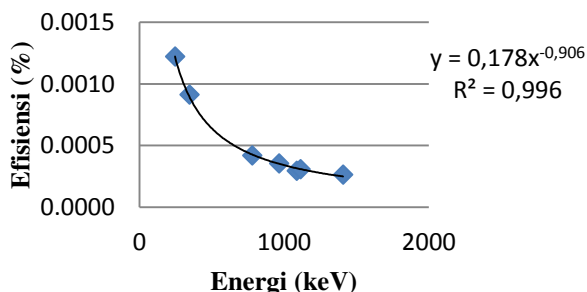
Kalibrasi dilakukan untuk mengubah cacahan sebagai fungsi (*channel*) menjadi cacahan fungsi energi. Dalam kurva berbentuk linier dikarenakan apabila cacahan fungsi (*channel*) tersebut tidak sesuai dengan nilai energi pada sertifikat maka akan diubah yang lebih sesuai.

Kalibrasi Efisiensi dan kurva kalibrasi

Rentang energi yang digunakan pada ^{152}Eu berkisar antara energi 121,8 keV-1408 keV. Dalam ^{152}Eu ini digunakan 8 tingkat energi yang memiliki nilai intensitas energi tertinggi yaitu pada energi 121,4 keV; 244,7 keV; 344,3 keV; 411,1 keV; 778,9 keV; 964,1 keV; 1112 keV; dan 1408 keV. Sedangkan pada kalibrasi menggunakan standard QCRB, energi yang digunakan adalah Americium-241 (^{241}Am) 60 keV; Cesium-137 (^{137}Cs) 662 keV; Cobalt-60 (^{60}Co) 1173 keV dan 1332 keV.

Untuk hasil pengukuran efisiensi menggunakan sumber ^{152}Eu pada detektor dengan efisiensi 25% pada jarak 17 cm dirangkum kurva kalibrasinya pada gambar 7.

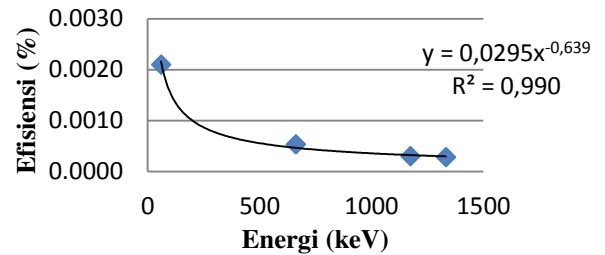
Pada detektor dengan efisiensi 25% pada jarak 17 cm dapat dibandingkan nilai R^2 pada kurva kalibrasi efisiensi ^{152}Eu adalah 0,996 lebih mendekati angka 1 daripada nilai R^2 pada kurva kalibrasi efisiensi QCRB yang hanya 0,990. Ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan kurva kalibrasi efisiensi ^{152}Eu lebih baik untuk melakukan pengukuran



Gambar 7. Kurva Kalibrasi Efisiensi ^{152}Eu detektor efisiensi 25%

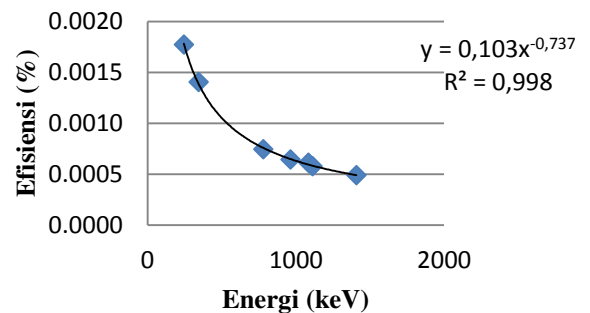
Untuk hasil pengukuran efisiensi menggunakan standard QCRB pada detektor

dengan efisiensi 25% pada jarak 17 cm dirangkum kurva kalibrasi pada gambar 8.



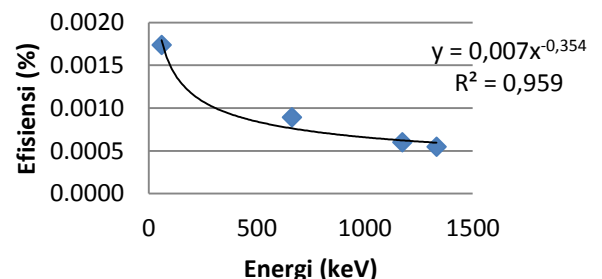
Gambar 8. Kurva Kalibrasi Efisiensi QCRB detektor efisiensi 25%

Untuk hasil pengukuran efisiensi menggunakan sumber ^{152}Eu pada detektor dengan efisiensi 35% pada jarak 24 cm dirangkum kurva kalibrasi pada gambar 9.



Gambar 9. Kurva Kalibrasi Efisiensi ^{152}Eu detektor efisiensi 35%

Untuk hasil pengukuran efisiensi menggunakan standard QCRB pada detektor dengan efisiensi 35% pada jarak 24 cm dirangkum kurva kalibrasi pada gambar 10.



Gambar 10. Kurva Kalibrasi Efisiensi QCRB detektor efisiensi 35%

Pada detektor dengan efisiensi 35% pada jarak 24 cm dapat dibandingkan nilai R^2 pada kurva kalibrasi efisiensi ^{152}Eu adalah 0,998 lebih

mendekati angka 1 daripada nilai R^2 pada kurva kalibrasi efisiensi QCRB yang hanya 0,959. Ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan kurva kalibrasi efisiensi ^{152}Eu lebih baik untuk melakukan pengukuran.

Dari kedua detektor terlihat bahwa terlihat bahwa nilai efisiensi akan semakin turun seiring dengan meningkatnya energi gamma. Ini disebabkan adanya foton gamma yang meloloskan diri dari detektor tanpa berinteraksi, sehingga nilai efisiensinya akan turun.

Setelah dilakukan kalibrasi energi dan didapatkan nilai pada kurva kalibrasi dari dua detektor tersebut dapat kita bandingkan bahwa pada detektor 25% memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah dari nilai efisiensi pada detektor 35%. Kurva kalibrasi pada ^{152}Eu terlihat lebih baik daripada kurva kalibrasi QCRB, ini salah satunya disebabkan karena pada QCRB tidak terdapat unsur nuklida pada rentang energi 0-500 keV (hanya 1 titik) dan rentang 500-1000 keV (hanya 1 titik). Ini menunjukkan bahwa semakin banyak titik (tingkat energi) yang terbaca maka akan semakin baik kurva yang dihasilkan. Setelah didapatkan nilai dari persamaan kurva maka dapat digunakan untuk menentukan nilai aktivitas sampel.

Validasi metode

Perhitungan aktivitas standard dihitung menggunakan kurva kalibrasi efisiensi yang telah diketahui, untuk memastikan keakuratan hasil dari kurva kalibrasi (gambar 7. sampai gambar 10.).

Untuk validasi metode pada detektor dengan efisiensi 25% pada jarak 17 cm dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Validasi metode pada detektor dengan efisiensi 25% dengan sumber standard single Co dan standard mix terhadap nilai kurva efisiensi

Radionuklida	Kurva efisiensi menggunakan sumber standard	At (Bq) Sertifikat	At (Bq) Perhitungan	(%) terhadap At sertifikat	Bias (%)
Single	QCRB	604,01	559,93	92,7%	7,3
Co 1173	Eu	604,01	596,74	98,8%	1,2
Single	QCRB	604,01	562,58	93,1%	6,9
Co 1332	Eu	604,01	619,11	102,5%	2,5
Mix	QCRB	2306,59	2481,50	107,6%	7,6
Cs 662	Eu	2306,59	2371,80	102,8%	2,8
Mix	QCRB	1211,98	1160,85	95,8%	4,2
Co 1173	Eu	1211,98	1194,74	98,6%	1,4
Mix	QCRB	1211,98	1181,70	97,5%	2,5
Co 1332	Eu	1211,98	1255,60	103,6%	3,6

Untuk validasi metode pada detektor dengan efisiensi 35% pada jarak 24 cm dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Validasi metode pada detektor dengan efisiensi 35% dengan sumber standard single Co dan standard mix terhadap nilai kurva efisiensi

Radionuklida	Kurva efisiensi menggunakan sumber standard	At (Bq) Sertifikat	At (Bq) Perhitungan	(%) terhadap At sertifikat	Bias (%)
Single	QCRB	609,25	574,29	94,3%	5,7
Co 1173	Eu	599,46	597,60	99,7%	0,3
Single	QCRB	609,25	595,28	97,7%	2,3
Co 1332	Eu	599,46	610,33	101,8%	1,8
Mix	QCRB	2303,40	2056,50	89,3%	10,7
Cs 662	Eu	2303,40	2276,76	98,8%	1,2
Mix	QCRB	1222,51	1259,85	103,1%	3,1
Co 1173	Eu	1222,51	1278,94	104,6%	4,6
Mix	QCRB	1222,51	1194,99	97,7%	2,3
Co 1332	Eu	1222,51	1274,14	104,2%	4,2

Dari data validasi yang telah dilakukan, dapat dirangkum bahwa rentang bias menggunakan sumber standard ^{152}Eu menunjukkan hasil yang lebih baik. Ini dikarenakan pada sumber standard ^{152}Eu memiliki kurva efisiensi yang lebih baik dengan rentang energi yang digunakan dari energi rendah sampai energi tinggi (121,1 keV – 1408 keV). Hasil kurva efisiensi yang lebih baik akan berpengaruh pada hasil pengukuran radioaktivitas yang memiliki bias yang lebih kecil dalam batas yang diperbolehkan.

Penghitungan Aktivitas Co dan Cs Sampel Unknown

Pengukuran radioaktivitas sampel dilakukan dengan kurva efisiensi standard ^{152}Eu , berdasarkan pada hasil validasi metode sebelumnya.

Untuk pengukuran radioaktivitas Co dan Cs sampel *unknown* pada detektor dengan efisiensi 25% jarak 17 cm dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran aktivitas Co dan Cs sampel *unknown* pada detektor dengan efisiensi 25%

Radio nuklida	At (Bq) tanggal 14 Maret 2014	Nilai acuan At (Bq) tanggal 14 Maret 2014	Bias (%) terhadap nilai acuan
Co	16125	16756	3,77%
1173	16717	16756	0,24%
Co	16526	16756	1,37%
1332	16287	16756	2,80%
Cs 662	35364	37582	5,90%
	38256	37582	1,79%

Dengan melihat hasil pada detektor dengan efisiensi 25% jarak 17 cm ini dapat dirangkum bahwa pengukuran radioaktivitas Co pada sampel

memiliki bias adalah 0,24% - 2,80% sedangkan radioaktivitas Cs pada sampel adalah 1,79%.

Untuk pengukuran radioaktivitas Co dan Cs sampel *unknown* pada detektor dengan efisiensi 35% pada jarak 24 cm dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran aktivitas Co dan Cs sampel *unknown* pada detektor dengan efisiensi 35%

Radio nuklida	At (Bq) tanggal 14 Maret 2014	Nilai acuan At (Bq) tanggal 14 Maret 2014	Bias (%) terhadap nilai acuan
Co	15289	16756	8,76 %
1173	16533	16756	1,33 %
Co	15477	16756	7,63 %
1332	16481	16756	1,64 %
Cs 662	37226	37582	0,95 %
	38540	37582	2,55 %

Dengan melihat hasil pada detektor dengan efisiensi 35% jarak 24 cm ini dapat dirangkum bahwa pengukuran radioaktivitas Co pada sampel memiliki bias adalah 1,33% - 1,64% sedangkan radioaktivitas Cs pada sampel adalah 2,55%.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil pengukuran Hasil pengukuran aktivitas Co dan Cs pada sampel *unknown* pada detektor dengan efisiensi 25% :
 - Aktivitas Co 1173 pada standar QCRB dan ^{152}Eu masing-masing adalah 16125 Bq dan 16716 Bq
 - Aktivitas Co 1332 pada standar QCRB dan ^{152}Eu masing-masing adalah 16526 Bq dan 16287 Bq
 - Aktivitas Cs 662 pada standar QCRB dan ^{152}Eu masing-masing adalah 16526 Bq dan 16287 Bq
- Hasil pengukuran aktivitas Co dan Cs pada sampel *unknown* pada detektor dengan efisiensi 35% :
 - Aktivitas Co 1173 pada standar QCRB dan ^{152}Eu masing-masing adalah 15289 Bq dan 16533 Bq

- Aktivitas Co 1332 pada standar QCRB dan ^{152}Eu masing-masing adalah 15477 Bq dan 16481 Bq
- Aktivitas Cs 662 pada standar QCRB dan ^{152}Eu masing-masing adalah 37226 Bq dan 38540 Bq

Pengukuran yang baik adalah dengan menggunakan sumber standard ^{152}Eu sebagaimana telah dibuktikan sebelumnya dalam validasi metode. Hal ini diperkuat dengan nilai bias pada pengukuran aktivitas Co dan Cs sampel *unknown*, baik menggunakan detektor 25% (0,24% - 2,80% dan 1,79%) maupun detektor 35% (1,33% - 1,64% dan 2,55%) menunjukkan nilai bias yang baik.

Antara kedua detektor baik detektor 25% dan detektor 35% tidak terdapat perbedaan hasil yang signifikan. Kedua detektor mampu melakukan pengukuran dengan hasil yang baik.

SARAN

- Dalam melakukan pengukuran validasi metode sebaiknya menggunakan sumber standard ^{152}Eu .
- Pengukuran validasi harus pada rentang bias seminimal mungkin karena dapat berpengaruh pada nilai pengukuran sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alkhadi, M., 2000, *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta, PT. Rineka Cipta.
- [2] Blaww, M., 1996, *The Ko. Consistent IRI Gamma-Ray Catalogue for Instrumental Neutron Activation Analysis*, Interfacultair Reactor Institut van de Technische Universiteit Delft.
- [3] Goes, E.G., Ottoboni, M.A., Palma, P.V.B., Morais, F.R., Pela, C.A., Borges, J.C., and Covas, D.T., 2008, Quality Control of Blood Irradiation with a Teletherapy Unit: Damage to Stored Red Blood Cells after Cobalt-60 gamma irradiation, *Transfusion*, 48, 332-340.

- [4] Harbert, J., Rocha, A.F.G., 1984, Textbook of Nuclear Medicine Vol. 1, Philadelphia. Lea & Febiger.
- [5] Hossain, I., Sharip, N., Viswanathan, K.K., 2012, Efficiency and resolution of HPGe and NaI(Tl) detectors using gamma-ray spectroscopy. *Scientific Research and Essays*, 7, 1, 86-89.
- [5] Kamarz, H., Purnomo, S., Suhartono, 2006, Uji Penyerapan Cs-137 oleh Nanokomposit, *LIMBAH*, 1, 10, 27-35.
- [6] Krane, K., 1992, Fisika Modern, Penerjemah Hans J. Wospakrik dan Sofia Niksolihin, UI-Press, Jakarta.
- [7] Sprawls, P., 1987, *Physical Principles of Medical Imaging*, Maryland, Aspen Publisher.
- [8] Sriwahyuni, H., Suryantoro, Giyatmi, 2009, Pengaruh Limbah Karbon Aktif Cs 137 Terhadap Kerapatan Dan Kuat Tekan Beton Limbah, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII Serpong*, 23 Juni 2009, 121-126.
- [9] Susetyo, W., 1988, *Spektrometri Gamma*., Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [10] Wahyudi, P., Suwahyono, U., Harsoyo, Mumpuni, A. dan Wahyuningsih, D., 2005, *Pengaruh Pemaparan Sinar Gamma Isotop Cobalt-60 Dosis 0,25 – 1 kGy Terhadap Daya Antagonistik Trichordema harzianum Pada Fusarium oxysporum*, BATAN, Bandung.